الوسيلة الفعالة للتصميم الامثل للالات الزراعية

يان كادوش جبار سعيد سدلار ب.
استاذ مساعد مدرس مدرس

المستخلص

يتناول البحث تطبيقات لاجراءات تحديد الكتلة المثالية لهيكل ملحوم لعربة ناقلة للباذرات تسحب بواسطة الجرارات. استخدمت طريقة التصميم الجهدي الكامل (Fully Stressed Design - FSD) و المبنية على معيار مثالي للانتفاع من الاقتراب غير المباشر.يتمثل الهدف في الوصول الى اقل كتلة ممكنة اخذين بنظر الاعتبار المقاومة المسموحة مثلما يبين البحث، فعلى قاعدة الاجراءات المثالية و صلنا الى اكثر من 35% في الاقتصاد بكتل المواد عبر تقليص الكتلة الكلية للهيكل الملحوم ب 878.12 kg وقد وفر ما يعادل 35.85% من قيم الاجهادات القصوى . وتم التوصل من خلال التحليل الستاتيكي للنموذج الاصلي بأن الاجهادات 71.25MPa كافية لتأمين الحركة الامينة والصلابة المطلوبة في ظل وزن مقداره 1368.9 كيلوغرام للهيكل.، فعند مقارنة وزن الهيكل قبل و بعد عملية التحليل لمثالي بواسطة التحليل الجهدي الكامل يتبين بان انسب حل هو استخدام المقاطع المعرفة و بخمس خطوات تكرارية و هذا يتفق مع نظام المقايسة الاوربي (EU20) و نظام المقايسة السلوفاكي (STN 42 5571).

لقد أعتمدت طريقة العناصر النهائية Finite Element Method لتنفيذ التصميم المثالي حيث حددت عبر هذه الطريقة العقد التي ينبغي حلها و التي هي تشكيل و تكوين النموذج الحسابي لتحليل المواضيع المقترحة و كذلك الترجمة الصحيحة للنتائج.ان هذه الطريقة المستخدمة للاجراءات المثالية لها نظام ثابت و مهم في الممارسة العملية بسبب من انها تؤدي الى الاقتصادفي المواد مع الاحتفاظ بالمقاومة المطلوبة و بمؤشرات صلابة البناء و لهذا استخدمت التحليلات المثالية للصلابة بأعتماد قاعدة العنصر الجبريةElement Geometric Methodوهي طريقة متطورة تحتويها المنظومة البرنامجية (Pro / Mechanica) مع تكوين النموذج الافتراضي بواسطة برنامج (Pro / Engineer).

The Iraqi Journal of Agricultural Science 39 (5) : 118-125 (2008) Gaduš et al.

AN EFFECTIVE METHOD FOR OPTIMIZATION OF AGRICULTURAL TOOLS DESIGN

Gaduš JAN
Slovak University of Agric. in Nitra Faculty of Agric. Engineering Slovak Rep.

JABBAR Said
College of Agric. Salahaddin University Arbil, Iraq

J.SEDLAR, P.
Slovak University of Agric. in Nitra Faculty of Agric. Engineering Slovak Rep.

Abstract

This paper presents an application of an optimization procedure for a mass optimization of a welded framework of a special tractor trailer designed for transport of seeding machines. Optimization procedure, so-called Fully Stressed Design (FSD), based on an indirect approach utilizing optimum criteria has been used. The aim of the optimization was to achieve the lowest possible mass of the construction taking into consideration the allowed resistance. Through reducing the total mass of welded framework by 878.12 kg .This optimization method has saved 35.85 % of maximum stress value .From static analysis for original model that the stresses are 71.25 MPa is enough to provide the secure movement and require of rigidity under a weight of the framework that is 1362.9 kg. It has been shown that optimization procedures have an important and un replaceable role in practice, because they result in significant material savings keeping the required resistance and consistency parameters of constructions within the required specification. That is why the optimum analysis of rigidity were gustivide depending on element geometric method which is advance method problems could by the formation of the calculation model for analysis of the proposed subjects and the correct in mechanics. That are part of the programming system Pro/ Mechanica with the formation of the virtual model by means of the programmed known as CAD product Pro/ Engineer .The finite element method has been used to execute the optimum design in which the problem is solved have been determined. These problems could be the formation of the calculation model for analysis of the proposed subjects and the correct translation of results.

It has been concluded that the welded framework weight can by reduced FROM 2000 KG TO 1368.9 KG.

Key words: framework; welded construction; Finite Element Method (FEM); optimization procedure; Fully Stressed Design (FSD)

المقدمة

من المعلوم عند اقتراح تصميم جديد لأية آلة فأن المرحلة الأخيرة سوف تكون هي التقييم المثالي لتلك الالة. ففي هذه العملية يجري البحث عن قيم العناصر الداخلة في بناء الأجزاء الميكانيكية، و التي تنسجم مع نتائج القيم القياسية المرسومة لها على سبيل المثال الأحمال المسموح بها. التشوهات المسموح بها،السعر و غيرها.

و من الوسائل الفاعلة في عملية التقييم المثالي هي اعتماد الحاسوب -(Computer Aided ;CA)، حيث إن هذه التقنية لعبت دورا في عملية التقييم المثالي كما هو معمول به في الدول المتطورة تقنيا ، آن هذه التقنية دخلت مجالات الأعداد للإنتاج حيث تعتبر واحدة من الوسائل الرئيسية التي تستخدمها الشركات في المنافسة الشديدة في السوق و يرتبط نجاحها يوما بعد يوم بعملية التحويل السريع للأفكار على المنتجات القابلة للمنافسة (7 ،12). استخدم في البداية الرسم الثنائي الابعاد2D المسمى الواح الرسم الالكترونية في عملية التصميم لكنه لم يحقق ما كان مرجوا منه خاصة في مجال رفع جودة النشاط الهندسي في حين ان انظمة الرسم الثلاثية الابعاد كانت اكثر كمالا في دعم النشاط الهندسي بما فيه التحليل و التسويق و ايجاد الحلول المثالية كما يؤكد Gadus(3).ولهذا اصبح لابد من أستخدام الانظمة البرامجية CAD/CAM في التصميم و الانتاج حيث انها أنظمة تقنية معلوماتية ترتبط بعملية الإنتاج بأبعاده الثلاث التصميم و التطوير و المنتوج نفسه و يتحقق التكامل عبر نظام التقنية هذا بتكوين النموذج الافتراضي للمنتوج ثلاثي الأبعاد في جميع المراحل التي يمر بها.و هذا بالتأكيد يرتبط بإمكانية و قدرة النظام المستخدم في النموذج الافتراضي الجديد وبين أسلوب يترجم هذا النظام أي هل آن الاختصاصيين سيعملون بشكل منفصل أو جماعي ليصوغوا المعلومات الأساسية المشتركة التي يحتويها النموذج الافتراضي في Data bas. (9).

لقد أصبح نظام CAD مجهزا بنماذج للتحليل و حساب صلابة الأجزاء و كامل التصميم . و هذه المعالجات الدقيقة تعتمد طريقة العناصر النهائية Finite Elements Method و التي غالبا ما تستخدم لتنفيذ التصميم المثالي للمهمات المعقدة و المتعددة المقاييس (7). انها طريقة تمتد الى جميع التطبيقات الهندسية، لكن المهندسين المدنيين و الميكانيكيين و مهندسي الفضاء هم اهم المستخدمين لهذه الطريقة (15)، وهي تقنية التحليل الرقمي للحصول على حلول تقريبية لاوسع مشاكل الهندسة المتنوعة (5).

و أن من اهم هذه العقد التي ينبغي حلها هي تشكيل و تكوين النموذج الحسابي لتحليل المواضيع المقترحة و كذلك الترجمة الصحيحة للنتائج. لذا فأن هذا البحث يهتم باستخدام الطريقة النهائية للعناصر Finite Element Method بأعتبار أنها تتميز بالبساطة في الشكل و الوظائف(1,10)، وتعمل على جعل المشكلة ضمن حدودها الدنيا (13)، وتمتلك المرونة مع الالتزام بالحدود الهندسية(2) ولذا يقترح هذا البحث الطريقة المثالية لتصميم الهيكل الخاص لنقل البذارات.

المواد وطرائق العمل :

أن التصميم المثالي حسب ما يعرفه الباحثين (11,20) هو ذلك التصميم الذي يساعدنا في الحصول على مقترح تصميمي يعد الافضل من جميع المقترحات المعطاة اذا اخذنا بنظر الاعتبار الهدف الموضوع لذلك وفق المواصفات الهندسية المحددة. لذا فأن الصيغة الامثل هي في الحقيقة دمج للرياضيات و الميكانيك مع التعامل الهندسي و بذا فهي تأخذ مجالا واسعا متعدد التخصصات و تكون لها تطبيقات واسعة خاصة في المجالات التقنية كهندسة البناءو الهندسة الميكانيكية والهندسة الالكترونية.

أن الصيغة الأعم للمقترحات المثالية ضمن المقاييس المحددة للتصاميم تقودنا الى البرمجة اللاخطية و هذه تعرف رياضيا كالاتي:

من أجل إيجاد متجهة المتغيرات المقترحة فأن:

$$\{X\} = \{X_1, X_2, ... X_n\}^T \quad \text{.......} \quad (1)$$

لذا عليه ان تتناسب مع الشروط المحددة:

$$Z = F(\{X\}) \rightarrow \min \quad \dots\dots (2)$$

$$g_j(\{X\}) \leq 0 \qquad j = 1,\dots\dots,m \quad \dots\dots (3)$$

$$h_k(\{X\}) \leq 0 \qquad k = 1,\dots\dots,l \quad \dots\dots (4)$$

$$X_i^d \leq X_i \leq X_i^h \quad \dots\dots (5)$$

حيث g_j يمثل محددات في التباين و من المعتاد في أغلب التصاميم تكون الدوال h_k a g_j ,F غير خطية.

أن صعوبة المقترح كما يراها الباحثون (16,8) تكمن في تحديد أبعاد التصميم و بنفس الوقت المقاييس التي تعبر عن شكله ، و في التطبيقات العملية فأن التصميم المثالي يحاول الوصول ايضا إلى الحد الأدنى من الكتلة أو أي غرض آخر مقترح كالسعر مثلا ضمن المحددات التالية : الاجهادات، الترددات ، شروط الإنتاج ، الجودة و السعر المناسب، الشكل الهندسي و شروط أخرى.ومن هنا نرى أن بين الشروط التصميمية و البرمجة اللاخطية علاقة متداخلة وفي الحقيقة فان وصف التصميم بمساعدة القياس Xi يعبر عن الأبعاد ، الشكل و كتلة التصميم أو أي هدف مرسوم يمكن بسهولة تحويله الى البرمجة الغير الخطية كقضية واجبة الحل. ان البرمجة الغير خطية تعالج المشاكل عادة عن طريق التكراركما يشير لذلك Plaza *et al* و Hart and Shorgan (4,14). و تتمثل طريقة التكرارحسب التالي:

$$\{X^{k+1}\} = \{X^k\} + \alpha^k \{S^k\} \quad \dots\dots (6)$$

حيث أن : k – يرمز الى عدد مرات التكرار.

$\{S\}$, – متجهة البحث عن الامثل.

α^k - هي طول الخطوة المثالية في أتجاه $\{S\}$.

و في أغلب اللوغاريتمات فأن عملية البحث عن الامثل أن المتجهه $\{S\}$ هي دالة $F, g_j, h_k, VF, Vg_h\, Vh_k, \{X\}$.

حيث أن: V - تمثل الانحدار بالارتباط مع {X}

من بداية المقترح $\{X^0\}$ هو متجهة المقترح و تكراريا يعدل بالارتباط مع المعادلة الاساسية حتى ينفذ بالمعايير المتقاربة للوصول الى الحل المثالي $\{X^+\}$

عند استخدام هذه الوسيلة هنا في الوصول للتصميم الامثل فأن دالة الهدف و دالة المحددات g_j a h_k تحسب بواسطة طريقة العناصر النهائية Finite Elements Method و آن تحديد مسار المتجهة S يتطلب حسب نتائج الانحدار التي نسميها (الحساسية) في طريقة العناصر النهائية، والتي بتحليلها نستنتج العوامل المتغيرة كالاجهادات مثلا في كل جزء من الهيكل. أن من بين أكثر الطرائق استخداما لتحليل الحساسية حسب Medvedcky(9) تبرز طريقتان:

- الطريقة المتغيرة لتحليل الحساسية
- طريقة التحليل الجزئي للحساسية

و يؤكد أيضا ان مخطط التدرج في مقترح التصميم المثالي للاجزاء ينطلق من تحديد المواد و الاواصر و الاحمال حيث يجري تحليل الاجهادات للشكل المثالي مع تقييم النتائج عبر معرفة كمية الاجهادات ومن ثم يوضع الحل الامثل للشكل والوزن.

ان عملية التصميم المثالي للهياكل تعتبر من أقدم العمليات في البحث عن الامثل وفي الجوهر هي البحث عن تصميم بنائي توضع

فيه أقل التكاليف و يعبر عن الشروط المطلوبة ، وهذا ما يشير له الباحث Johnson (6) بان استخدام الاسلوب اللوغارتمي للتقييم الجهدي الكامل يوفر طريقة فعالة لمهمة البدء بالتصميم و بالنتيجة يوفر الحدود الدنيا لوزن الهياكل.

في التطبيقات العملية غالبا ما تبسط هذه المهمة بالبحث عن تصميم تستخدم فيه أقل ما يمكن من المواد(الحد الادنى من الكتلة)، وفي هذه الحالة التي نتناولها هي هيكل نقل البازرات باستخدام التحليل المثالي لمقاطع بناء الهيكل.ان الحلول المثلى كما يؤكدها الباحثون (19) تتطلب عددا محددامن الوسائل غالبا ما تظهر في التطبيق حلول محددة و وظائف قيمة واقعية.وبالنتيجة فأن الحل المثالي يكون عبر اعتبار كل جزء من الهيكل حالة منفردة، أي كل مقطع يمثل مقترح متغير و بذلك نقلل من عدد المحددات أثناء عملية البحث عن الحل المثالي أخذين بنظر الاعتبار المحددات الاستثنائية و التي يعبر عنها على هيئة معادلات. و في العموم فأن المقترح المثالي يمكن صياغته باستخدام البرمجة غير الخطية.

و من جانب اخر نستخدم الاسلوب الغير مباشر القائم على المعايير المثالية المناسبة للحل الستاتيكي لتصاميم الهياكل المحددة كي.نتوصل الى المقترح ذو الحد الادنى من الوزن و ذلك عبر استخدام العلاقات البسيطة المتداولة و التي يمكن من خلالها الحصول على الشروط المثالية التي وضعت من قبل Kuhn-Tucker او بأستخدام مختلف عمليات التقريب ،

و الاسلوب المستخدم لذلك هو ما يسمى Fully Stressed Design—FSD (20) ، حيث أن خصائصه هي:

- آن التجربة الهندسية تؤكد بأنه لا يوجد اكثر من مقترح جيد واحد و تكون جميع الاعمدة فيه محمله بالاجهادات بالكامل.
- ستاتيكيا هناك حالات محددة تعطي نتائج مثالية
- فاعليته أفضل من الطرق الاخرى
- يمكن آن توصلنا الى منافذ و طرق لاحقة عند البرمجة غير الخطية
- انه أسلوب سريع لايتطلب حساسية فائقة ويمكن ان يسيطر على عدد كبير من المتغيرات في التصميم كما يذكر(17)
- يستهدف الوصول في مجال التصميم الى التوزيع المثالي للمادة في ظل الحد الاقصى للاداء الميكانيكي تحت أجهادات نوعية (18).

عند تطبيقنا طريقة الFSD لتصميم الهيكل المثالي فقد ثبت انه مناسبا جدا لتجاوز جميع الصعاب التي واجهتنا ان تكون الاجهادات تكون محسوبة حسب Misses، مع التصور بأن المتغير المقترح هو Xi الذي يمثل مساحة المقطع :

$$\sigma_{ekv}=\sqrt{\sigma_x^2+3\cdot\left[\tau_1^2+\left(\tau_2+\tau_3\right)^2\right]} \quad \text{أو} \quad \sigma_{ekv}=\sqrt{\sigma_x^2+3\cdot\left[\left(\tau_1+\tau_3\right)^2+\tau_2^2\right]} \quad \text{.......(7)}$$

و يمكننا كتابة العلاقة التكرارية:

$$X_i^k=\frac{\sigma_{iekv}^{k-1}}{\sigma_{idov}}.X_i^{k-1}, \quad \text{.......(8)}$$

حيث : $\tau_1\ \tau_2\ \ \tau_3$ تمثل الاجهادات الانزلاقية في اتجاه المحاور الرئيسية للاجهاد.

σ_x تمثل الاجهادات الاعتيادية في المقطع عند نقطة i

X_i^k تمثل مساحة المقطع في النقطة i عند خطوات تكرار قيمتها k

X_i^{k-1} تمثل مساحة المقطع في النقطة i عند خطوات تكرار قيمتها k-1

σ_{iekv}^{k-1} تمثل الاجهادات المكافئة (Von misses) في المقطع عند النقطة i عند خطوات تكرار قيمتها k-1

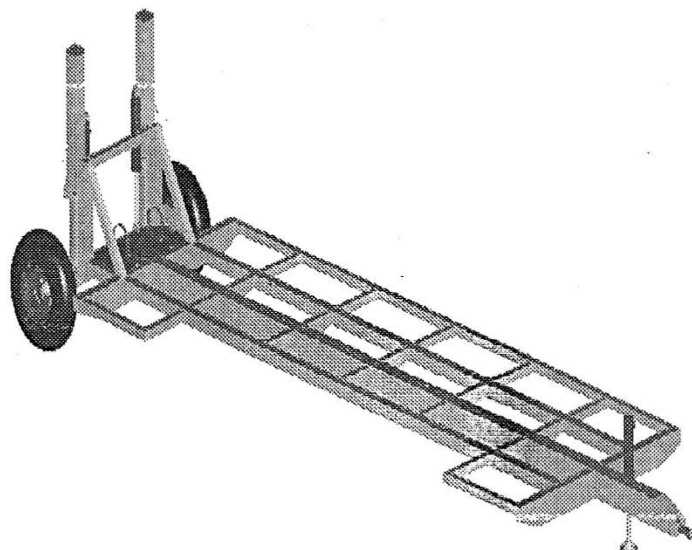
σ_{idov} تمثل الاجهادات المسموحة في المقطع عند النقطة i .

و تعبر هذه العلاقة مبدئيا عن طريقة الحل . و في حالة الاعمدة هذه نحتاج في الواقع الى اكثر من خاصية للمقاطع و هذا يولد

التعقيد بسبب اختيار مقترحات متغيرة.

النتائج و المناقشة :

ان القيمة الاساسية لتحليل قوى الاطار هي قيمة الاحمال و الابعاد الخارجية للباذرات. والتنظيم الكلي للهيكل موضح في الشكل 1 حيث انطلقنا في حساب الاحمال من كتلة الباذرات m = 2000 kg و الظروف التشغيلية.



شكل 1 : الانموذج الافتراضي لهيكل نقل الباذرة.

الاحمال النهائية المؤثرة على الاطار هي:

$$F_{I} = K_D \cdot m \cdot g = 2{,}25.2000.10 = 45\,000 \text{ N} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

حيث : KD (KD= 2,25) هي معامل الديناميكي (الذي يعرف الظروف التشغيلية حسب نظام القياسات النوعية السلوفاكية STN 93 0035)

g ($g \approx 10 m.s^{-2}$) التعجيل الأرضي

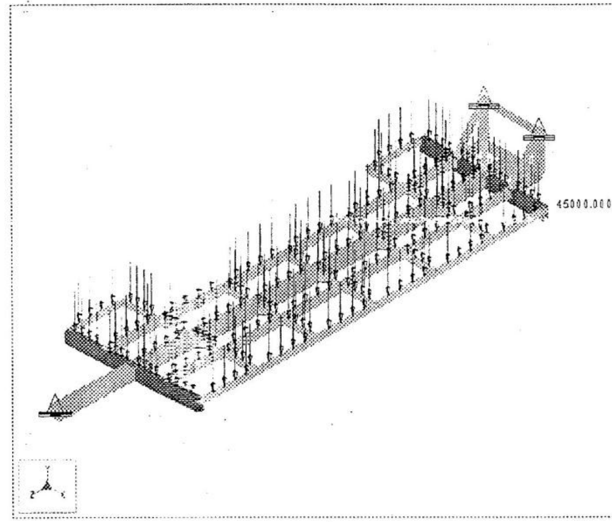
توزع الاحمال بشكل متساوي على كامل الهيكل حيث يمكن ملاحظة ذلك من النموذج الحسابي في الشكل 2 . إذ أن الإطار يصنع على أساس الفكرة المقترحة من مقطع مدرفلة ملحومة. وان المادة المقترحة هي الفولاذ 11 523.1 ذو الخصائص الميكانيكية التالية:

- $E = 21.10^5$ MPa, — Modulus of elasticity — معامل المرونة
- $R_e = 343$ MPa, — Sliding limit — حد الانزلاق
- $R_m = 510 \div 628$ MPa, — Solidity limit — حد الصلابة
- $\rho = 8.35.\ 10^{-3}$ kg.mm^{-3}, — Specific weight — الكثافة النوعية
- $\mu = 0.3.$ — Poisson's ratio — ثابت بويسون

عند تصميم النموذج الحجمي و تحليله لاحقا استخدمنا الانظمة البرنامجية Pro/ engineer و Pro / Mechanica و عند تحليل الصلابة فقد اعتمدنا قاعدة العناصر الجبرية Element Geometric Method وهي طريقة متطورة في الميكانيك يحتويهما احد البرنامجين وقد تم تطوير البرنامجين من قبل شركة Parametric Technology Corporation , USA

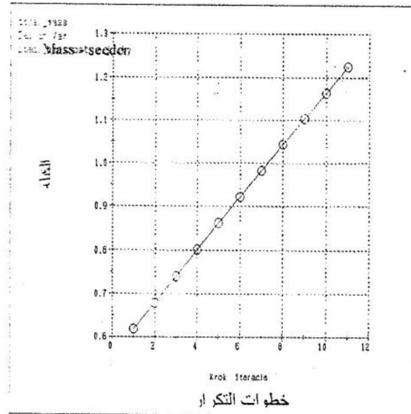
يقسم اطار التحميل الى أجزاء التحميل الرئيسية و أجزاء للتقوية و ترتبط الاواصر بثلاث نقاط . في منطقة مفصل الربط مع الجرار يجري تقييد الحركة في ثلاثة اتجاهات x,y,z و في عمود ربط العجلات و تحديدا في مكان تثبيت الاطارات توجد نقطتان متاصرتان جردت منهما حرية الحركة في z , y و حرية الدوران حول المحور z , x و بذا يكون مجموع درجات حرية الحركة التي تم تجريدها من النموذج هي 11 درجة.

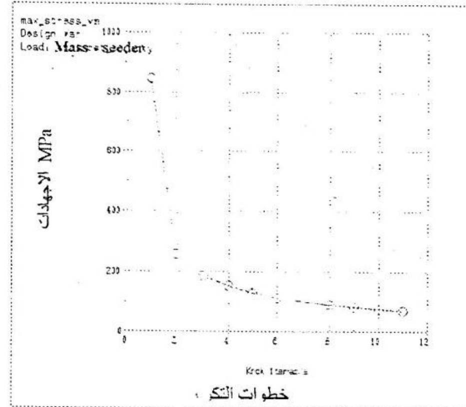
لقد اخضعت هذا النموذج الى التحليل الستاتيكي و من ثم تحليل الوزن المثالي للتصميم. ومن خلال التحليل الستاتيكي للنموذج الاصلي توصلنا بأن الاجهادات (σ_{max}= 71,25 MPa)تؤمن الحركة الامينة و الصلابة المطلوبة في ظل وزن مقداره 1368.9kg للهيكل.



شكل 2 : الانموذج الحسابي للاطارحيث يوضح توزع الاحمال بالتساوي على كامل الاطار

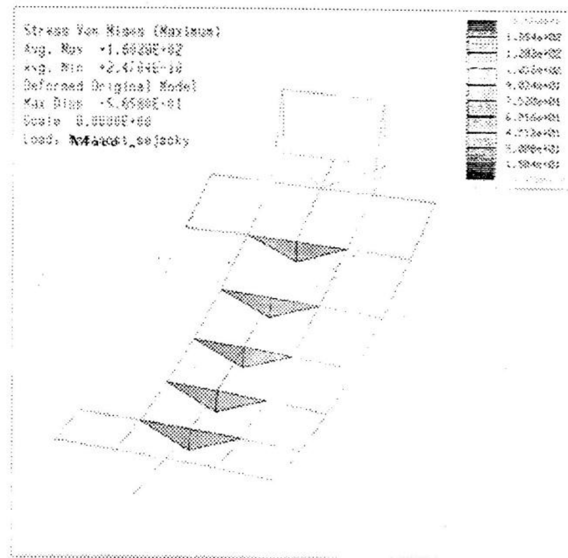
عند كل عمود من اعمدة الاطار حددت 10 مقاطع مغلقة ذات سمك صغير و اخضعت لعمليات التحليل المثالي بتكرار مقداره 10 مرات و منها جرى أختيار المقاطع ذات قيم للاجهادات σ_{idem} = 150 MPa





شكل 3. العلاقة بين تغيرات وزن التصميم و التغيرات على الاجهادات المخفضة بالارتباط مع خطوات التكرار

ان نتائج الحسابات المثالية يشير لها المخطط في الشكل 3 حيث نلاحظ فيه العلاقة بين تغيرات وزن التصميم و التغيرات على الاجهادات المخفضة بعد كل عملية تكرار. و بهذا الاسلوب استطعنا تقليص الكتلة الكلية للهيكل الملحوم ب 878.12kg أي بتخفيض مقداره 490.78 kg وهذا يوفر لنا ما يعادل 35.85% من قيم الاجهادات القصوى حسب VON MISSES و كما نراه في الهيكل الذي جرت عليه عملية التحليل الامثل و الشكل 4 يوضح ذلك.



شكل 4: قيم الاجهادات المخفضة (Von Misses) التي اجريت على الاطار

المصادر

1.Aluru, N. R. 2000. A point Collocation Method Based on Reproducing Kernel Approximations. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 47: pp.1083-1121.

2. Bathe, K. J. 2001. The inf-supcondition and Its Evaluation for Mixed Finite Element Methods. Computers and Structures, 79: pp.243-252.

3. Gaduš, J. 1999. Nové Trendy v Konštrouvaní a Exploatovaní Polnohospodarskej Techniky. Konferencie Katedry výrobných Systemov, Polnohospodarskej University, Nitra.27 May.

4 Hart, J. and A. Shorgan. 1987. Semi-greedy heuristics: An empirical study. Operations Research Letters 6: pp. 107-114.

5.Hatzigeorgiou, G. D. and D. E. Beskos, 2002. Static Analysis of 3D Damaged Solids and Structures by BEM. Engineering Analysis with Boundary Elements 26 (6):521- 526.

6.Johnson, E. H. 2001. Fully Streesed Design in MSC. Nastran Paper No.42. Msc. Software Coprporation 8120 Washington Village Dr. Dayton, Ohio, USA 45458. erwin.johnson@mscsoftware.com

7- Kolár, V., I. Némec, and V.Kanický. 1997. FEM- Principy Praxe Methody Konečných Prvku.Computer Press.Praha p.401 ISBN 80-7226-021-9 (Principles and Practice of Finite Element Method).

8-Kompis, V., L. Luksan, S. Limmich, M. Zmindak, J. Hrebicek. 1991. Optimalizácia konštrukčných návrhov v spojení s mkp. Edičné stredisko Slovenskej technickej univerzity, Bratislava 1991. P. 304 (Optimalization of Construction suggestions Correlated with Finite Element Method).

9-Medvedcky, S,. L. Cillik, I. Barysz, M. Zarnay, A. Hercekova, J. Broncek, L. Kucera.1999. Základy konštruovania. EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity, Žilina 1999. p. 599 ISBN 80-7100-547-9 (Foundations of Construction EDIS).

10.Miranda, S., and F.Ubertini. 2001. On Consistency of Finite Element Metods. Appl.Mech. Engng., 190: pp. 2411-2422.

11.Noor, A. K. 1991. Bibliography of Books and Monographs on Finite Element Technology. Appl.Mech.Rev. 44(8):307-317.

12.Partheymuller, P., M. Hass, and G. Kuhn. 2000. Comparison of Basic and Discontinuity Formulation of 3Ddual Boundary Element Method. Engineering Analysis with Boundary Element, 24(10): 777-788.

13.Persson, P.,and G. Strange. 2004.A Simple Mesh Generator in Matlab, SIAM Review, 46(2):329-345.

14.Plaza, A., M . A. Pardon, and G. F. Garey. 2000. A3D Refinement, Derefinement Algorithum, for Solving Evolution Problems.Appl.Numerical Mathematics, 32(4):401-418.

15.Pomeranz, S. 2000. Using a Computer Algebra System to Teach the Finite Element Method. Inte.J. Engng. Ed.16 (4):362-368.

16.Rashed, Y. F. 2001. An Introduction to Boundary Elements, Boundary Element Communications, 12 (1):49-54.

17.Rozvany, G. I. 2001 . Aim, Scope, Methods, History and Unified Terminology of Computer- Aided Topology Optimization in Structural Mechanics, Structural and Multidisciplinary Optimization, 21 (2): 90-108.

18.Yu, X., E. H. Johnson, and S. Zhang. 2000. Discrete Optimization in MSC. Nstran, MSC. Software 2nd . Worldwide Automotive Conference, Detroit, MI.pp.1-15. URL: www.mscsoftware.com/support/library/conf/auto00/p02100.pdf

19.Zhang, S., E. Johnson, L. Woo, X.Yu. and D. Chou. 2000. New Strategies for Design Optimization in SOL 200, MSC. Software 2nd Worldwide Automotive Conference, Detroit MI.pp.1-117. URL:www.mscsoftware.com/support/library/conf/auto00/p02100.pdf

20.Zmindak, M., M. Saga, J.Tvaruzek, and S.Husar. 2000. Optimalizacia mechanickych sustav. EDIS- Vydavatelstvo Zilinskej Univerzity, Zilina. 261. ISBN 80-7100-631-9 (Optimization of Mechanical Systems EDIS)

ملاحظة: تمت ترجمة عناوين بعض المصادر 7و8و9و20الى اللغة الانكليزية و وضعت بين قوسين من قبل الباحث.